3М

УДК 004.89, 004.93

К.В. Мурыгин
Институт проблем искусственного интеллекта МОН Украины и НАН Украины,
г. Донецк, Украина
Украина, 83048, г. Донецк, ул. Артема, 118 б

Обнаружение автомобильных номерных знаков с использованием предварительной обработки кандидатов

K.V. Murygin
Institute of Artificial Intelligence MES of Ukraine and NAS of Ukraine, c. Donetsk
Ukraine, 83048, c. Donetsk, Artema st., 118 b

Detection of Car Registration Plates with Use of Preliminary Processing of Candidates

К.В. Муригін
Інститут проблем штучного інтелекту МОН України і НАН України, м. Донецьк
Україна, 83048, м. Донецьк, вул. Артема 118 б

Виявлення автомобільних номерних знаків з використанням попередньої обробки кандидатів

Статья посвящена проблеме ускорения процесса поиска объектов на изображениях, основанного на использовании мультимасштабного сканирования. Для решения этой задачи предлагается использовать предварительную обработку кандидатов с использованием интегральных характеристик, которая реализуется как первый этап каскада классификаторов смешанного типа. В качестве тестовой задачи выбрана задача обнаружения на цифровых изображениях номерных знаков автомобилей. Полученный каскад классификаторов позволил увеличить быстродействие обработки изображений при обнаружении номерных знаков в 1.6 раза по сравнению с каскадом линейных классификаторов, полученным с помощью алгоритма AdaBoost. Результаты проведенных экспериментов могут быть распространены на задачи поиска других объектов на изображениях.

Ключевые слова: распознавание изображений, обнаружение объектов, анализ изображений, классификация изображений.

The article is devoted to a problem of acceleration of objects detection process on the images, the multiscale scanning based on use. For the solution of this task it is offered to use preliminary processing of candidates with use of integrated characteristics which is realized as the first stage of the classifiers cascade of the mixed type. As a test task the problem of detection on digital images of cars registration plates is chosen. The received cascade of classifiers allowed to increase computational performance of images processing at detection of registration plates by 1.6 times in comparison with the cascade of linear classifiers received by means of AdaBoost algorithm. Results of the made experiments can be extended to problems of search of other objects on images.

Key Words: image recognition, object detection, image analysis, image classification.

Стаття присвячена проблемі прискорення процесу пошуку об'єктів на зображеннях, заснованого на використанні мультимасштабного сканування. Для вирішення цього завдання пропонується використати попередню обробку кандидатів, що реалізується як перший етап каскаду класифікаторів змішаного типу. Як тестове завдання обрана задача виявлення на цифрових зображеннях номерних знаків автомобілів. Отриманий каскад класифікаторів дозволив збільшити швидкодію обробки зображень при виявленні номерних знаків в 1.6 рази в порівнянні з каскадом лінійних класифікаторів, отриманим за допомогою алгоритму AdaBoost. Результати проведених експериментів можуть бути поширені на завдання пошуку інших об'єктів на зображеннях.

Ключові слова: розпізнавання зображень, виявлення об'єктів, аналіз зображень, класифікація зображень.

Введение

Задача обнаружения объектов является актуальным направлением исследований в области создания автоматических систем анализа и распознавания изображений. В данной статье рассматривается один из подходов решения этой задачи, основанный на мультимасштабном сканировании изображений и классификации типа объект/фон каждого получаемого в ходе сканирования кандидата [1]. Кандидатами на принадлежность классу объекта в данном случае являются фрагменты исходного изображения, определяемые положением и масштабом сканирующего окна. Вычислительную сложность процесса обнаружения, основанного на мультимасштабном сканировании изображений, определяют число кандидатов и сложность используемых классификаторов.

Для ускорения процесса классификации в большинстве случаев удается выполнить каскадную организацию классификаторов, целью которой является исключение большего количества кандидатов на начальных более простых классификаторах каскада. Для получения каскада классификаторов можно использовать объединения простых Хаар-подобных свойств, полученные на основе алгоритма AdaBoost [2-5], МКВ-классификаторов [6] и др. Кроме этого, как показано в работе [7], вычислительную сложность можно уменьшить на основе использования предобработки, и введение ее в каскад классификаторов в качестве первого классификатора каскада. Тип предварительной обработки определяется свойствами объекта поиска, а ее эффективность определяется в ходе дополнительных специальных экспериментов, аналогичных проведенным в работе [7].

Целью работы является получение каскада классификаторов смешанного типа и определение достигнутых показателей производительности на задаче обнаружения автомобильных номерных знаков.

Используемые признаки для классификации кандидатов

Основными критериями качества признака для решения широкого круга задач, и в особенности задач распознавания зрительных образов, являются его разделительные свойства и сложность его получения, учитывая необходимость быстрого поиска области объекта, что предполагает классификацию большого числа кандидатов при обработке одного изображения. При формировании каскада классификаторов использовались два вида признаков, основанных на сопоставлении изображения кандидата со свойствами, представляющими собой расширение Хаар-подобных свойств (рис. 1). В отличие от Хаар-подобных свойств, используемые свойства представляют собой оценку яркостей изображения кандидата в двух произвольных прямоугольных областях изображения.

Значение свойства для заданного фрагмента изображения вычисляется на основе следующих выражений:

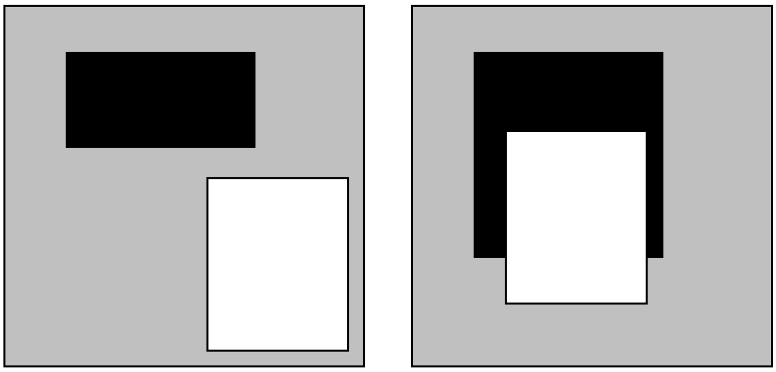
$$R = \frac{S_Б}{N_Б} - \frac{S_Ч}{N_Ч} \qquad (1)$$

в случае непересекающихся областей (рис. 1а), и

$$R = \frac{S_Б}{N_Б} - \frac{S_Ч - S_{Ч \cap Б}}{N_Ч - N_{Ч \cap Б}} \qquad (2)$$

в случае пересечения областей (рис. 1б). Здесь индексы Ч и Б означают черную и белую области соответственно, а Ч∩Б – обозначает область пересечения областей

черного и белого цвета; S – сумма яркостей пикселей изображения, находящихся под областью; N – число пикселей изображения, находящихся под областью. Таким образом, значения свойств означают разность средних яркостей пикселей реальной области изображения, находящихся под белой частью изображения свойства и находящихся под его черной частью (рис. 1).



а) б)

Рисунок 1 – Вид прямоугольных свойств, используемых в качестве признаков при обнаружении объектов:
а) области не пересекаются; б) области пересекаются

Значение признака для данной области изображения, основанного на описанных свойствах, вычисляются на основе полученных значений свойств R (1) и (2) согласно выражениям:

$$F = \begin{cases} 1, R > 0; \\ -1, R \le 0 \end{cases}, \tag{3}$$

и

$$F = \begin{cases} 1, (R - P) \cdot D > 0; \\ -1, (R - P) \cdot D \le 0 \end{cases}. \tag{4}$$

Выражение (3) для вычисления значения признака используются при обучении и использовании МКВ-классификаторов, основанных на представлении пространства объектов распознавания в виде многомерного гиперкуба, число измерений которого равно числу используемых признаков [6]. Выражение (4) используется при комбинировании признаков в виде линейного классификатора при помощи алгоритма AdaBoost [5]. В выражении (4) P – порог и D – направление признака определяются в ходе выполнения обучения классификатора.

Обучение каскада классификаторов

Для обучения каскада классификаторов, используемых в ходе мультимасштабного сканирования изображений для обнаружения автомобильных номерных знаков, использовалась обучающая база изображений автомобилей, полученных в реальных условиях дорожной обстановки. База содержала 2 000 изображений, размеченных вручную. Для формирования обучающего набора изображений номерных знаков каждое изображение номерного знака подвергалось перспективным и масштабным преобразованиям, что позволило расширить обучающий набор до 30 000 изображений номеров. При формировании обучающего набора фоновых изображений использовалось мультимасштабное

сканирование изображений, аналогичное используемому при обнаружении. На каждом этапе обучения классификаторов каскада в качестве обучающего набора изображений фона случайным образом выбирались 30000 кандидатов, ложно классифицируемых уже обученными классификаторами как изображения номерных знаков.

В ходе обучения каскада был получен каскад классификаторов смешанного типа, включающий в себя 10 классификаторов. Первый классификатор был основан на предобработке кандидатов, предложенной в [7]. В ходе предобработки использовалось разбиение кандидата на две равные части по горизонтали, как показано на рис. 2.

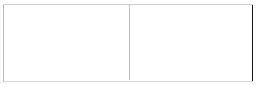


Рисунок 2 – Используемый вид разбиения кандидата на подобласти

Для каждой подобласти на основе интегральных изображений рассчитывались математическое ожидание яркости M1 и M2 и дисперсия яркости D1 и D2. Значение признака, используемого для отделения изображений номерных знаков от фона, рассчитывалось по формуле:

$$\frac{\min(D_1, D_2)}{\sqrt{\max(M_1, M_2)}}.$$

Второй, третий и четвертый классификаторы использовали МКВ-классификатор, остальные – линейные классификаторы, полученные с помощью алгоритма AdaBoost. Параметры полученных классификаторов и всего каскада приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры полученного каскада классификаторов

№	Тип	Число признаков	Ошибка пропуска	Ошибка ложного обнаружения
1	Предобработка	–	0	0.57
2	МКВ	5	0.005	0.28
3	МКВ	8	0.005	0.30
4	МКВ	10	0.005	0.33
5	Линейный	50	0.005	0.23
6	Линейный	150	0.005	0.18
7	Линейный	250	0.005	0.19
8	Линейный	500	0.005	0.10
9	Линейный	700	0.005	0.11
10	Линейный	1000	0.005	0.09
Для всего каскада				
Среднее число признаков при обработке кандидата			6.17	
Ошибка пропуска			0.044	
Ошибка ложного обнаружения			$1.2 \cdot 10^{-7}$	

Тестирование каскада классификаторов

Для тестирования полученного каскада классификаторов была разработана программа автоматического обнаружения на изображениях номерных знаков. Для тестирования использовалась база изображений автомобилей, полученных в реальных дорожных условиях, и содержащая 3 000 изображений, не входивших в набор, использованный для обучения каскада.

Для сравнительного анализа скоростных показателей полученного в работе каскада классификаторов смешанного типа использовался ранее полученный каскад, составленный из линейных классификаторов, полученных с помощью алгоритма AdaBoost на аналогичном обучающем наборе. Каскад содержит 8 линейных классификаторов, характеристики которых приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Параметры каскада линейных классификаторов, используемого для сравнительного анализа

№ классификатора	Ошибка пропуска номерного знака	Ошибка ложного обнаружения
1	0.005	0.19
2	0.005	0.31
3	0.005	0.34
4	0.005	0.20
5	0.005	0.10
6	0.005	0.12
7	0.005	0.04
8	0.005	0.05
Для всего каскада		
Ошибка пропуска		0.04
Ошибка ложного обнаружения		$0.96 \cdot 10^{-7}$

Как видно из табл. 1 и 2, сравниваемые каскады близки по качественным характеристикам, полученным в результате обучения.

В ходе тестирования на вход программы подавался тестовый набор изображений, и выполнялось сравнение автоматически найденного положения номерного знака с положением, отмеченным вручную. Номерной знак считался обнаруженным правильно, если выполнялось следующее условие:

$$\frac{2S_{\cap}}{S_1 + S_2} > 0.7,$$

где $S_{\cap}$ – площадь пересечения автоматически найденного положения и эталонного, S_1 – площадь эталонного положения номера, S_2 – площадь автоматически найденной области номера. Все автоматические найденные на изображении номерные знаки, для которых приведенное выше условие не выполняется, считались ложно обнаруженными. Для получения общей оценки ошибки ложного обнаружения вычислялось отношение числа ложно найденных номеров на всех изображениях тестового набора к количеству тестовых изображений. Для оценки вычислительной сложности сравниваемых каскадов использовалось общее время обработки тестового набора изображений. Результаты проведенного сравнительного тестирования приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Результаты тестирования каскадов на задаче обнаружения автомобильных номеров

Тестовый параметр	Каскад классификаторов смешанного типа	Каскад линейных классификаторов
Время обработки тестового набора, сек	450	707
Доля правильно обнаруженных номерных знаков	0.973	0.975
Ошибка ложного обнаружения	0.198	0.215

Как видно из табл. 3, по качественным характеристикам (правильное и ложное обнаружение) сравниваемые каскады показали приблизительно одинаковые результаты, что соответствует характеристикам каскадов, полученным по результатам обучения (табл. 1 и 2). Полученные показатели правильного обнаружения (более 97%) и ошибки ложного обнаружения (в среднем 0.2 ложных срабатывания на изображение) говорят о применимости полученных классификаторов для создания прикладных систем поиска и распознавания номерных знаков.

Оценка вычислительной сложности сравниваемых каскадов показала преимущество каскада классификаторов смешанного типа перед каскадом линейных классификаторов, что говорит о перспективности использования предложенного подхода для ускорения процесса обнаружения номерных знаков. Как видно из табл. 3, использование каскада классификаторов смешанного типа позволило увеличить быстродействие обработки изображений приблизительно в 1.6 раза.

Выводы

Результаты проведенных исследований показали перспективность использования при мультимасштабном сканировании изображений с целью обнаружения объектов каскада классификаторов смешанного типа. В ходе проведенных экспериментов полученный каскад показал увеличение быстродействия обработки изображений при обнаружении автомобильных номерных знаков в 1.6 раза по сравнению с каскадом линейных классификаторов, полученных с помощью алгоритма AdaBoost.

Полученные показатели правильного обнаружения (более 97%) и ошибки ложного обнаружения (в среднем 0.2 ложных срабатывания на изображение) говорят о применимости полученных классификаторов для создания прикладных систем поиска и распознавания номерных знаков.

Результаты проведенных экспериментов могут быть распространены на задачи поиска других объектов на изображениях.

Литература

1. Мурыгин К.В. Обнаружение объектов на изображении на основе каскада классификаторов / К.В. Мурыгин // Искусственный интеллект. – 2007. – № 2. – С. 104-108.
2. Paul Viola. Robust real-time object detection / Paul Viola and Michael J. Jones // Proc. of IEEE Workshop on Statistical and Computational Theories of Vision. – 2001.
3. Bradski G. Learning-based computer vision with Intel's open source computer vision library / G. Bradski, A. Kaehler, V. Pisarevsky // Intel Technology Journal. http://develiper.intel.com/technology/itj/index.htm.
4. Robert E. Schapire Boosting the margin: A new explanation for the effectiveness of voting methods / Robert E. Schapire, Freund Y. Bartlett P, Lee W.S. // Proc. Of the Fourteenth International Conference on Machine Learning, 1997.
5. Мурыгин К.В. Особенности реализации алгоритма AdaBoost для обнаружения объектов на изображениях / К.В. Мурыгин // Искусственный интеллект. – 2009. – № 3. - С. 573-581.
6. Мурыгин К.В. Комбинирование бинарных свойств в виде МКВ-классификатора / К.В. Мурыгин // Искусственный интеллект. – 2010. – №1. – С. 108-113.
7. Мурыгин К.В. Предварительная обработка кандидатов при обнаружении автомобильных номеров на изображениях / К.В. Мурыгин // Искусственный интеллект. – 2013. – № 2. – С. 32-37.

Literatura

1. Murygin K.V. Obnaruzhenie ob'ektov na izobrazhenii na osnove kaskada klassifikatorov // Iskusstvennyj intellekt. 2007. - №2. - S.104-108.
2. Paul Viola and Michael J. Jones. Robust real-time object detection. //In Proc. of IEEE Workshop on Statistical and ComputationalTheories ofVision, 2001.

3. Bradski G., Kaehler A., Pisarevsky V. Learning-based computer vision with Intel's open source computer vision library //Intel Technology Journal. http://develiper.intel.com/technology/itj/index.htm.
4. Robert E. Schapire, Freund Y. Bartlett P, Lee W.S. Boosting the margin: A new explanation for the effectiveness of voting methods // In Proc. Of the Fourteenth International Conference on Machine Learning, 1997.
5. Murygin K.V. Osobennosti realizacii algoritma AdaBoost dlja obnaruzhenija ob'ektov na izobrazhenijah // Iskusstvennyj intellekt. 2009. - №3. - S. 573-581.
6. Murygin K.V. Kombinirovanie binarnyh svojstv v vide MKV-klassifikatora // Iskusstvennyj intellekt. 2010. – № 1. – S. 108-113.
7. Murygin K.V. Predvaritel'naja obrabotka kandidatov pri obnaruzhenii avtomobil'nyh nomerov na izobrazhenijah // Iskusstvennyj intellekt. – 2013. – № 2. – S. 32-37.

RESUME

Murygin K.V.

Detection of Car Registration Plates with Use of Preliminary Processing of Candidates

The article is devoted to a problem of acceleration of objects detection process on the images, the multiscale scanning based on use. For the solution of this task it is offered to use preliminary processing of candidates with use of integrated characteristics which is realized as the first stage of the classifiers cascade of the mixed type. As a test task the problem of detection on digital images of cars registration plates is chosen. The received cascade of classifiers allowed to increase computational performance of images processing at detection of registration plates by 1.6 times in comparison with the cascade of linear classifiers received by means of AdaBoost algorithm.

The received characteristics of the correct detection (more than 97%) and errors of false detection (on the average 0.2 false detections on the image) tell about applicability of the received classifiers for creation of applied systems of search and recognition of car registration plates.

The results of the experiments can be extended to the problem of finding other objects in the images provided additional research to determine a satisfactory integral feature, due to the different properties of detected object images.

Статья поступила в редакцию 10.06.2013.